

УДК 629.12

**СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВАРОЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ “МОКРОЙ” ПОДВОДНОЙ СВАРКИ****Сомпольцева Анна Александровна,**

Старший преподаватель

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова

a.sompoltseva@narfu.ru

Емченко Светлана Владимировна,

Старший преподаватель

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова

s.emchenko@narfu.ru

Пономарев Иван Михайлович,

Бакалавр

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова

ponomarev.i.m@edu.narfu.ru

Кузнецов Илья Сергеевич,

Бакалавр

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова

s521411085@edu.narfu.ru

Аннотация

В данной статье проведен сравнительный анализ сварочно – технологических свойств электродов для “мокрой” подводной сварки. Для сравнения взяты электроды марки ЛКИ-1П, ЭПС-АН1 и UW-EZ-2 фирмы Broco Underwater, применяющихся для сварки малоуглеродистых сталей.

Ключевые слова: “мокрая” подводная сварка, сварной шов, шлаковая корка, дуга.

**COMPARATIVE STUDIES OF WELDING AND TECHNOLOGICAL
PROPERTIES OF ELECTRODES FOR “WET” UNDERWATER WELDING****Sompoltseva Anna Alexandrovna,**

Senior lecturer

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov a.sompoltseva@narfu.ru

Yemchenko Svetlana Vladimirovna,

Senior lecturer

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

s.emchenko@narfu.ru

Ponomarev Ivan Mikhailovich,

Bachelor

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov ponomarev.i.m@edu.narfu.ru

Kuznetsov Ilya Sergeevich,

Bachelor

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

s521411085@edu.narfu.ru

ABSTRACT

This article provides a comparative analysis of welding and technological properties of electrodes for “wet” underwater welding. For comparison, electrodes of the LKI-1P, EPS-AN1 and UW-EZ-2 brands from Broco Underwater, used for welding low-carbon steels, were taken.

Keywords: “wet” underwater welding, weld, slag crust, arc.

Мысль о том, что под водой можно сваривать и резать металл, впервые была высказана известным отечественным изобретателем Н. Н. Бенардосом. А первые попытки дуговой подводной сварки металлическими покрытыми электродами были успешно осуществлены в СССР академиком К. К. Хреновым и его сотрудниками в сварочной лаборатории Московского электромеханического института инженеров железнодорожного транспорта им. Ф. Э. Дзержинского в 1932 г. [1]

Ныне подводная сварка широко применяется для восстановления и ремонта подводных металлоконструкций: различных резервуаров, хранилищ, трубопроводов, опор, причалов, подводных участков судов. Разрывы, трещины, утонение стенок в таких объектах может привести к аварийной ситуации, связанной с разрушением конструкций и опасностью для жизни человека.

Сварка под водой принципиально возможна на разных глубинах. Однако практическое выполнение сварки на значительных глубинах, например, более 40–50 м., связано с особыми условиями.

На сегодняшний день существует четыре ключевых способа выполнения подводной сварки:

- использование глубоководной камеры с сухой средой;
- проведение сварочных работ в рабочей камере водолазного колокола;
- применение компактного сухого бока;
- выполнение сварочных работ непосредственно в водной среде

В настоящей статье рассматривается процесс “мокрой” подводной сварки, выполняемой с применением покрытых электродов.

Основными трудностями всех способов “мокрой” сварки, принципиальные положения которой разработаны советскими исследователями, являются: ускоренное охлаждение металла шва и зоны термического влияния (ЗТВ); бурное выделение газов и аэрозолей вокруг горячей дуги, которое ограничивает видимость сварочной ванны, виден лишь участок в зоне горения дуги (в радиусе 10-15мм); присутствие значительного объема водорода в дуговом промежутке парогазового пузыря приводит к насыщению металла сварного шва, что увеличивает вероятность возникновения пор и холодных трещин. [2]

Рисунок 1 демонстрирует процесс горения дуги в водной среде.

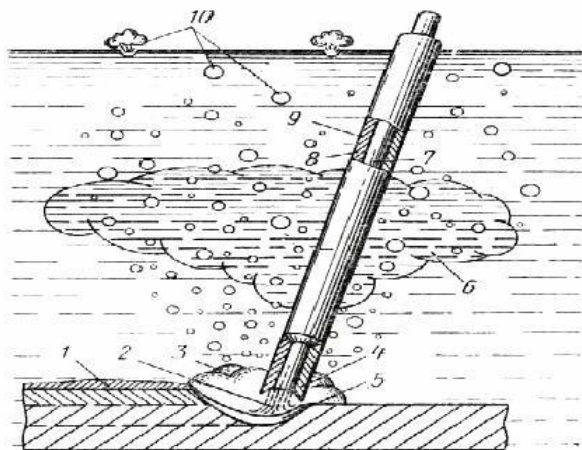


Рисунок 1 – Процесс горения дуги в водной среде

1 – шлаковая корка; 2 – сварочная дуга; 3 – пузырь с газами вокруг дуги; 4 – козырек; 5 – ванна расплавленного металла; 6 – аэрозольное облако; 7 – электродный стержень; 8 – электродное покрытие; 9 – водонепроницаемое покрытие; 10 – газовые пузырьки и брызги металла.

В данной статье рассмотрено сравнительное исследование сварочно-технологических свойств трёх типов электродов, предназначенных для подводной "мокрой" сварки. Данные электроды разработаны различными производителями, однако все они созданы для проведения сварочных работ с однотипными малоуглеродистыми сталями.

Характеристики рассматриваемых сварочных электродов:

Для исследования были выбраны три марки электродов диаметром 4 мм:

- ЛКИ-1П;

- ЭПС-АН1;

- UW-EZ-2 фирмы Broco Underwater.

Электрод марки ЛКИ-1П

Электроды были созданы специалистами Ленинградского кораблестроительного института, ныне известного как Санкт-Петербургский Морской технический университет. Для их покрытия использована рутилово-флюоритная смесь, а в основе стержня лежит проволока марок Св-08 и Св-08А. Поверх электродного покрытия методом окунания нанесён слой полиуретанового лака, выполняющий функции электро- и гидроизоляции.

Область применения:

Для ручной дуговой подводной сварки «мокрым» способом конструкций из малоуглеродистых сталей марок Ст0, Ст1, Ст2, Ст3 по ГОСТ 380-94 «Сталь углеродистая обыкновенного качества» и других аналогичных им. Покрытие электродов гарантирует получение высококачественных сварных швов при ручной подводной сварке «мокрым» методом на глубинах до 50 метров [3].

Электрод марки ЭПС-АН1

Электроды были созданы в 1994 году в Институте электросварки имени Е. О. Патона. Для их покрытия использована рутиловая смесь, поверх которой нанесён тонкий слой, выполняющий функции электро- и гидроизоляции. В качестве материала для стержневой проволоки применена марка Св-08.

Область применения:

Электроды предназначены для ручной дуговой сварки «мокрым» методом конструкций из малоуглеродистых сталей, таких как Ст3, 10, 20 и их аналогов. Благодаря особенностям покрытия, они обеспечивают создание надёжных сварных соединений при работе на подводных глубинах до 20 метров.

Электрод марки UW-EZ-2 фирмы Broco Underwater

Разработан фирмой Broco Underwater (США), серия EasyTouch. На покрытие нанесен слой парафина, толщиной 0,4 мм. Парафин наносится с целью электро- и гидроизоляции. Электроды легко зажигаются, просты в использовании, подходят для сварки в любом пространственном положении. Выполненные испытания электродов серии EasyTouch продемонстрировали механические характеристики сварного шва соответствуют электродам Э42 по стандарту ГОСТ 9467-75 [4].

Область применения:

Для ручной дуговой подводной сварки “мокрым” способом изделий из малоуглеродистых сталей.

Сравнительные исследования технологических характеристик электродов для мокрой подводной сварки

По ГОСТ 9466-76 “Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки” [5] сварочно-технологические свойства электродов должны удовлетворять следующим требованиям:

- дуга должна легко возбуждаться и стабильно гореть;
- покрытие должно плавиться равномерно, без чрезмерного разбрызгивания, отваливания кусков и образования чехла или козырька, препятствующих нормальному плавлению электродов при сварке во всех пространственных положениях, рекомендованных для электродов данной марки;
- образующийся при сварке шлак должен обеспечивать правильное формирование валиков шва и легко удаляться после охлаждения;
- в металле шва не должно быть трещин, надрывов, поверхностных пор;
- максимальные размеры и число внутренних пор и шлаковых включений в металле шва не должны превышать установленных норм.

При проверке сварочно – технологических свойств электродов выполняют один односторонний сварной тавровый образец и один двухсторонний сварной тавровый образец.

Планки, расположенные между собой Т-образным методом, должны соответствовать геометрии и размерам согласно рисунка 2.

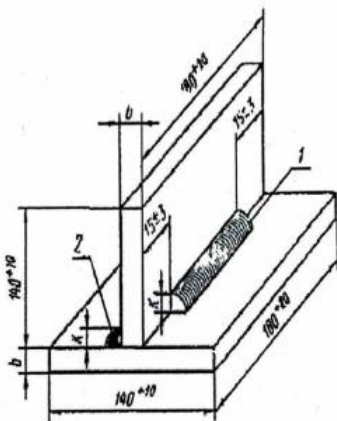


Рисунок 2 – Характеристики сваренных между собой Т-образно расположенных планок

1 – сварной шов, подвергающийся контролю; 2 – сварной шов, обеспечивающий жесткость образца (только для двустороннего таврового образца).

Для проведения опыта были выполнены следующие операции:

- подготавливаются, маркируются и помещаются в противень с водой тавровые соединения и стальные пластины. Вода должна полностью покрывать место предполагаемой сварки. Соединение должно располагаться под углом 45° к горизонтальной поверхности (рисунок 3).



Рисунок 3 – тавровое соединение под водой

- электрод устанавливают в электрододержатель;
- в месте стыковки двух пластин таврового соединения в противне с водой завариваются угловой шов при положении “в лодочку” (рисунок 4);

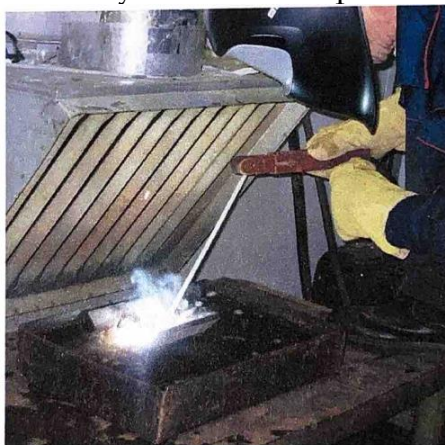


Рисунок 4 – Процесс сварки таврового соединения

- остужается, просушивается и зачищается от шлака тавровое соединение (рисунок 5) или пластина;



Рисунок 5 – Тавровое соединение с заваренным сварным швом

- полученный сварной шов на тавровом соединении испытывается на излом, а на пластине – подвергается ВДС (воздушно – дуговой строжке);
- визуально оценивается качество полученного сварного шва перед испытанием и после испытания.

Тавровое соединение ломается по центру углового шва (рисунок 6).

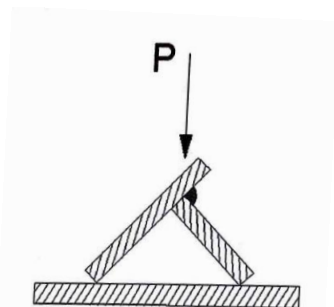


Рисунок 6 – Испытание таврового шва на излом (P – прикладываемая сила).

Воздушно – дуговая строжка осуществляется угольными электродами. Процесс заключается в выстрагивании верхнего слоя сварного шва.

Проведение исследований. Анализ результатов.

Электрод марки ЛКИ-1П

- сварочная дуга легко зажигается, горит стабильно, однако хуже, чем электроды остальных сравниваемых марок.

При проведении исследования использовались следующие режимы сварки: сила сварочного тока $I_{св} = 190$ А, напряжение на дуге $U = 24 - 25$ В.

- в процессе сварки покрытие плавится равномерно, не вызывая излишнего разбрызгивания или отваливания;

- в ходе сварки шлаковая корка не образуется, а шлак удаляется легко (рисунок 7).



Рисунок 7 – Выделившаяся после сварки шлаковая составляющая электродов марки ЛКИ-1П

- при визуальном осмотре дефектов не обнаружено: трещин, надрывов и поверхностных пор. Шов мелкочешуйчатый, самый блестящий среди всех трех марок электродов для подводной «мокрой» сварки (рисунок 8)



Рисунок 8 – Сварной шов электрода марки ЛКИ-1П после удаления шлаковой корки - есть внутренние поры, шлаковые включения отсутствуют (рисунок 9, 10).

Стрелками показаны поры.



Рисунок 9 – Излом, выполненный по сварному шву. Исполнен электродами марки ЛКИ-1П



Рисунок 10 – Исполненный электродами марки ЛКИ-1П сварной шов после снятия слоя воздушно – дуговой строжкой

Электроды марки ЭПС-АН1

Характеристика:

- легкий розжиг дуги, стабильное горение электрода, обрывов не происходит;

При проведении исследования использовались следующие режимы сварки: сила сварочного тока $I_{св} = 190 – 195$ А, напряжение на дуге $U = 22 – 24$ В.

- в процессе сварки электродное покрытие плавится равномерно, чрезмерное разбрызгивания отсутствует, нет отваливания кусков;

- шлак, образующийся в процессе сварки, отделяется легко и без труда (рисунок 11)



Рисунок 11 – Выделившийся после сварки шлак на поверхности сварного шва, выполненного электродами марки ЭПС-АН1

- в процессе проведения визуального осмотра трещин, надрывов и поверхностных пор не обнаружено. Шов мелкочешуйчатый, самый темный среди всех трех электродов для подводной сварки (рисунок 12);



Рисунок 12 – Сварной шов электродам марки ЭПС-АН1 после удаления шлаковой корки

- внутренние поры и шлаковые включения в изломе шва отсутствуют (рисунок 13 и 14);



Рисунок 13 – сварной шов электрода марки ЭПС-АН1 при изломе



Рисунок 14 – Сварной шов электрода марки ЭПС-АН1 в разрезе (со снятым слоем воздушно – дуговой строжкой)

Электроды UW-EZ-2 фирмы Broco Underwater

Характеристика:

- дуга разжигается с легкостью, горит стабильнее всех остальных электродов, применяемых при проведении исследования;

При проведении исследования использовались следующие режимы сварки: сила сварочного тока $I_{св} = 180 - 190$ А, напряжение на дуге $U = 25 - 26$ В;

- в процессе сварки отсутствует сильное разбрызгивание, электродное покрытие плавится достаточно равномерно, нет отваливания кусков;

- шлаковая корка отделяется легко (рисунок 15)



Рисунок 15 – Шлаковая корка электродов марки UW-EZ-2 фирмы Broco Underwater на поверхности сварного шва

- при визуальном осмотре дефектов не обнаружено: трещин, надрывов и поверхностных пор. Шов мелкочешуйчатый, блестящий. Качество шва в целом лучше, чем у электродов марки ЛКП-1П и ЭПС-АН1 (рисунок 16);



Рисунок 16 – сварной шов электрода марки UW-EZ-2 фирмы Broco Underwater после удаления шлаковой корки

- внутренние поры и шлаковые включения отсутствуют (рисунок 17)



Рисунок 17 – Сварной шов электрода марки UW-EZ-2 фирмы Broco Underwater в разрезе (со снятым слоем воздушно-дуговой строжки)

В рассматриваемой статье у всех трех марок для подводной “мокрой” сварки дуга легко возбуждается, горит стабильно, покрытие плавится равномерно без чрезмерного разбрызгивания и отваливания кусков. В ходе проведения испытаний на излом, а также после воздушно-дуговой – строжки у электродов марки ЛКИ-1П обнаружены поры.

Наилучшими сварочно – технологическими характеристиками обладают электроды марки UW-EZ-2 фирмы Broco Underwater.

Все рассматриваемые марки электродов допустимы и являются пригодными для “мокрой” подводной сварки.

Список литературы:

1. Логунов К.В. Подводная сварка и резка металлов. Санкт – Петербург. “Золотой век”, 2003. С. 59-72.
2. Мурзин В.В., Руссо В.Л., Ручная подводная сварка конструкций из стали повышенной прочности // Сварочное производство №1, 1993. С. 6 – 13.
3. Мурзин В.В., Руссо В.Л., Марков С.П., Марков А.В. Состав шихты электродного покрытия. Патент №2071895, 1997.

4. ГОСТ 9466-75 “Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки”, 1975.
5. ГОСТ 9467-75 “Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей”, 1975.

References:

1. Logunov K.V. Underwater welding and metal cutting. Saint-Petersburg. “The Golden Age”, 2003. P. 59 - 72.
2. Murzin V.V., Russo V.L., Manual underwater welding of structures made of high-strength steel // Welding production No. 1, 1993. P. 6 - 13.
3. Murzin V.V., Russo V.L., Markov S.P., Markov A.V. Composition of the charge of the electrode coating. Patent No. 2071895, 1997.
4. GOST 9466-75 “Coated metal electrodes for manual arc welding of steels and surfacing”, 1975.
5. GOST 9467-75 “Coated metal electrodes for manual arc welding of structural and heat-resistant steels”, 1975.